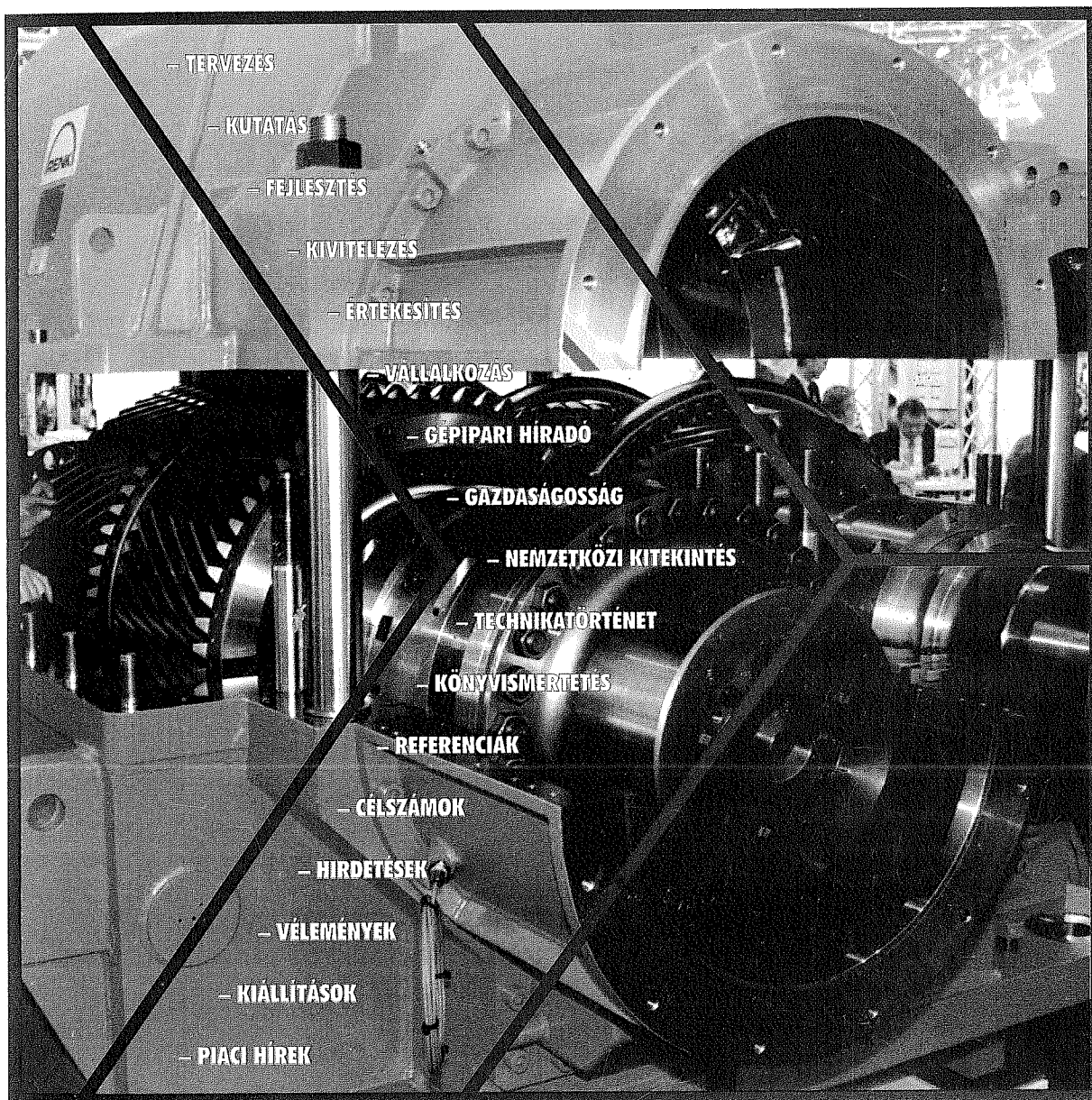


# GÉP

**A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA**



**2000/1-2.**

76 OLDAL  
LI. ÉVFOLYAM

# TARTALOM

Jármai, K. – Choo, Y.S.:	3
<b>Emelőfülek optimális méretezése</b>	
A szerzők optimalizáló algoritmus felhasználásával mutatják be az emelő fül méretének meghatározását feszültségi feltételek mellett.	
Zolnai Z. – Suda J. – Lajos T.:	
<b>Új eredmények a poros gázok tisztításában</b>	14
Az újabban alkalmazott technológiák között több található amelynél szennyezőanyagként szilárd szemcséket is tartalmazó gázok kerülhetnek a környezetbe. Közös érdek a szennyezők leválasztásának legcélszerűbb módszerét megkeresni. A szerzők nemzetközi együttműködésben folyó két kutatási területről számolnak be ezek a szövegszűrők illetve elektrofilterek.	
Vad j.: – Bencze F.:	
<b>Nagy áramlási teljesítményű axiális átömlésű forgógépek fejlesztése</b>	23
A szerzők a BME Áramlástan Tanszékén folyó kutatási tevékenységből a sugár mentén növekvő lapátcirkulációra tervezett axiális ventilátorok fejlesztését mutatják be.	
Szepesi Zs. – Goricsán I.:	
<b>Légköri szennyezőanyagok terjedési problémáinak szélszatórna vizsgálata</b>	30
A környezetvédelmi előírások betartásához feltétlenül szükséges a környezetszennyező létesítmények környezetéből a szennyezett levegő mind tökéletesebb elvezetését biztosítani. A feltételek, kérdések megválaszolása szélszatórna kísérletekkel válaszolhatók meg.	
Pay E. – Siposs I. – Páy G. – Alexandrescu M.:	
<b>Tanulmány az EHD kenés effektusairól nagyütésnek kitett HD működésű siklócsapágyakról</b>	36
Nagy terhelésű siklócsapágyaknál figyelembe kell venni a felületek rugalmas alakváltozását, ez befolyásolja a valóságos olajfilm vastagság eltérését az elméleti értéktől.	
Lobontiu M. – Butnar L. – Páy G.:	
<b>Vékony lemezborda tipizált gyártástechnológiája</b>	40
A cikk a merevítőbordák gyártásánál fennálló sajátos problémákat érinti bemutatva a megfelelően tipizált technológiát.	
Dudás I.:	
<b>Bálint Lajos professzor életútjának és a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai tanszék fejlődésének főbb állomásai</b>	43
A tanszék kialakításában meghatározó személyiség volt Bálint professzor mint tanszékvezető a szerző a tanszéki életút mellett ismerteti a tanszék évtizedeit eseményeket eredményeket.	
Balogh A.:	
<b>A gyártási folyamatok optimalizálása többszemponú célfüggvényekkel</b>	50
A gyártási folyamatok optimalizálása a folyamatjellemzők és a termék tulajdonságainak egyidejű figyelembevételével lehetséges. Az optimalizáláshoz standardizált minőségpontok szolgálnak alapul.	
Kovács Z. – Ködmön J.:	
<b>Műszaki kihívások JIT rendszerben</b>	55
A szerzők a JIT elemein végig menve elemzik, hogy a műszaki szakembernek milyen szempontokat kell figyelembe venni ha JIT rendszert terveznek vagy működtetnek.	
<b>BAY – INFO - Bay Zoltán Kutatási Alapítvány Közleményei</b>	
Árvai L. – Mártha P.:	
<b>Neuronháló struktúrák optimalizálása disztributív fenetikus algoritmussal</b>	61
Dadvandiopour S.:	
<b>Investigation on Relationships Between Computer Aided Process Planning (CAPP) and Production and Planning and Control (PPC)</b>	63
Kovács Gy.:	
<b>Diploma terv pályázati eredmények a Miskolci Egyetemen</b>	69
Hagyomány az egyetemen, hogy az egyetemi GTE szervezet pályázatot hirdet diploma tervezőifjú mérnöknek a szerző a pályázat eredményéről számol be.	
Puklus F.:	
<b>GTE Borsod megyei szervezet jubileumi rendezvénye</b>	70
Az ország egyik legnagyobb vidéki szervezete a Borsod megyei 1999 áprilisában ünnepelte 50. születésnapját. A szerző erről az eseményről számol be.	

# EMELŐFÜLEK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

# OPTIMUM DESIGN OF PADEYES

Jármai, K. \*, Choo, Y.S. \*\*

## Összefoglalás

Mérnöki szerkezeteknél általánosan alkalmaznak csuklós kapcsolatokat. Az építőmérnöki gyakorlatban ezen kapcsolatok sokféle szerkezetnél alkalmazásra kerülnek, mint szemrúd, emelőfül a tengeri, illetve a tengerparti alkalmazásoknál. Jelen méretezés a maximális rugalmas feszültségre történik, mely feszültségek egyszerűsített képletekkel meghatározhatók. A normál és nyírófeszültségek mind az alapanyagban, mint a varratban meghatározásra kerülnek az Eurocode 3 alapján. A Hillclimb optimáló algoritmus kerül felhasználásra az emelőfül optimális méreteinek meghatározásánál, feszültségi feltételek mellett.

## Célfüggvény

Az emelőfül minimális tömegét a minimális térfogat adja. A tömeg értéke a következő (1. ábra):

$$M = \rho V = \rho \left[ L_v L_h t_w + L_h (L_p + L) \frac{2}{3} t_w - \frac{d_p^2 \pi}{4} \right], \quad (1)$$

ahol  $L_h$  a varrat vízszintes hossza,  
 $L_v$  a varrat függőleges hossza,  
 $t_w$  az emelőfül lemezének vastagsága,  
 $d_p$  a csap átmérője,  
 $L$  a csap közepe és az emelőfül teteje távolsága.

## Adatok

Az acélminőség Fe 510. Az emelőfül a héjlemezhez sarokvarratokkal kerül rögzítésre.  
A szem merevítő lemeze alsó része és a kapcsolódási vonal távolsága (1. ábra).

$$L_p = 1.5 r_{main}$$

A vízszintes vonal hossza:

$$L_w = 0.9 L_h$$

A vízszintes erő x irányban  $F_{hx} = 0.1 F_v$

A vízszintes erő z irányban  $F_{hz} = 0.05 F_v$

A teljes függőleges emelőerő  $F = 400$  kN

Egy emelőfülre jutó erő  $F_v = 150$  tonna.

## Abstract

Pin joints are commonly used in engineering structures. In civil engineering the pin joints are used for various applications such as eyebar, lifting lug or padeye in offshore and onshore installation. Present design approach limits the maximum elastic stresses calculated by simplified formulae. The normal and shear stresses are calculated both in the parent material and in the welded joints according to Eurocode 3. The Hillclimb mathematical optimization technique is used for finding the optimum dimensions of a padeye fulfilling these stress constraints.

## Objective function

Minimum mass of the padeye means minimum volume. The mass is the following (Fig. 1):

where  $L_h$  is horizontal welded joint length,  
 $L_v$  is vertical welded joint length,  
 $t_w$  is thickness of padeye plate,  
 $d_p$  is diameter of pin hole,  
 $L$  is the length between pin center to the upper end of padeye.

## Data

Steel grade is Fe 510. Padeye is jointed to the shell plate by fillet welds.

Distance between eye stiffener plate lower side and connection line is (Fig. 1).

$$L_p = 1.5 r_{main}$$

Length of horizontal line:

$$L_w = 0.9 L_h$$

Horizontal force in x direction is equal to  $F_{hx} = 0.1 F_v$

Horizontal force in z direction is equal to  $F_{hz} = 0.05 F_v$

Total vertical lifting force is  $F = 400$  kN

One padeye is loaded by  $F_v = 150$  metric tons.

\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, vendégprofesszor a Szingapuri Egyetemen 1998 augusztusában

\*\* CAD/CAM/CAE laborvezető, Szingapuri Nemzeti Egyetem

\* professor, University of Miskolc, Hungary, visiting professor in August 1998 at NUS

\*\* Chairman of CAD/CAM/CAE laboratory, National University of Singapore



$\gamma_{M1}$  a részbiztonsági tényező,  
 where  $f_y$  is the yield stress,  
 $F_v$  is the vertical static force,  
 $\gamma_{M1}$  is the partial safety factor.

### Második implicit feltétel

a vízszintes kapcsolati vonal fáradási szilárdságára,

### Second implicit constraint

on fatigue strength at horizontal connection line,

$$\sigma_{pm} = \frac{F_v}{x_3 x_1} + \frac{F_{hz}}{x_1^2 x_3} \leq \frac{\Delta \sigma_R}{\gamma_{Mf}}, \quad (7)$$

a vízszintes kapcsolati vonal statikus szilárdságára,

on static strength at horizontal connection line,

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{vs}}{x_3 x_1} + \frac{F_{hzs}}{x_1^2 x_3} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw} \beta_w}, \quad (8)$$

ahol  $\beta_w$  az acélminőségtől függő korrekciós tényező,  
 $f_u$  a szakítószilárdság.

where  $\beta_w$  is correction parameter depending on the steel grade,  
 $f_u$  is the tensile strength.

### Harmadik implicit feltétel

### Third implicit constraint

Feltételezzük, hogy csak a függőleges erőt a függőleges varratok veszik fel.  
 A függőleges dinamikus erőből származó nyírófeszültség a függőleges varratokban.

It is assumed, that the vertical load is carried by vertical welds only.  
 Shear stress from dynamic force in vertical welds from vertical load.

$$\tau_v = \frac{F_v}{2L_v a_w}. \quad (9)$$

Feszültség a vízszintes erőből

Stress from horizontal load

$$\Delta \rho_{LP} = \frac{F_{hz}(L_p + L_v / 2 - y_2)}{I_x} (L_v - x), \quad (10)$$

ahol  $L_p$  a kapcsolati vonal és a szem középpontja távolsága,  
 $I_x$  az inercianyomaték,  
 $y_2$  a súlypont távolsága,

where  $L_p$  is the distance between connection line and pin center,  
 $I_x$  the moment of inertia,  
 $y_2$  is the gravity center,

Feltételezzük, hogy a hajlítás a kapcsolati vonal alatt  $y_1$  szakaszon nyomást eredményez. A két függőleges varrat húzásnak van kitéve. Ennek a speciális keresztmetszetnek a súlypontját és az inercianyomatékát keressük az  $x$  tengellyel párhuzamos tengelyre.

Assuming that the bending causes compression on  $y_1$  length under the connection line. The two vertical and the horizontal welds are under tension. This specific cross section has a gravity center and a moment of inertia parallel to  $x$  axis.

alsó rész

lower part

$$\Delta \tau_{LP} = \frac{\Delta \rho_{LP}}{\sqrt{2}}, \quad (11)$$

$$\Delta \sigma_{LP} = \frac{\Delta \rho_{LP}}{\sqrt{2}}, \quad (12)$$

$$\left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{LP}}{\Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \sqrt{(\Delta \tau_{LP})^2 + \tau_v^2}}{\Delta \tau_R / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1, \quad (13)$$

felső rész

upper part

$$\Delta \rho_{UP} = \frac{F_{hz}(L_P + L_v/2 - y_2)}{I_x}(x), \quad (14)$$

$$\Delta \tau_{UP} = \frac{\Delta \rho_{UP}}{\sqrt{2}}, \quad (15)$$

$$\Delta \sigma_{UP} = \frac{\Delta \rho_{UP}}{\sqrt{2}}, \quad (16)$$

$$\left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{UP}}{\Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{UP}}{\Delta \tau_R / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1. \quad (17)$$

Az  $a_w$  varratméret korlátja az emelőfül oldaláról

Limit for the welded joint size  $a_w$  from padeye side

$$a_w \geq 0.2 t_w \quad (18)$$

Az átmeneti lemez oldaláról a varrat mérete a lemezmérethez kötődik.

From intermediate plate side the welded joint size is connected to the plate thickness.

$$t_{int} \geq a_w \geq 0.8 t_{int}. \quad (19)$$

A héjlemez és a emelőfül lemeze közé ún. átmeneti lemezt építünk be, hogy a lemezvastagság változását mérsékeljük.  
A függőleges varratok statikus számításánál a nyírás a függőleges erőből adódik.

Between padeye and shell plate there is another plate to decrease sharp thickness changing.  
In static calculation in vertical welds, shear is due to vertical load.

$$\tau_v = \frac{F_{vs}}{2L_v a_w}, \quad (20)$$

$$\rho_{LP} = \frac{F_{hz}(L_P + L_v/2 - y_2)}{I_x}(L_v - x), \quad (21)$$

alsó rész

lower part

$$\tau_{LP} = \frac{\rho_{LP}}{\sqrt{2}}, \quad (22)$$

$$\sigma_{LP} = \frac{\rho_{LP}}{\sqrt{2}}, \quad (23)$$

$$\sqrt{(\sigma_{LP})^2 + 3(\tau_v + \tau_{LP})^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw} \beta_w \sqrt{3}}, \quad (24)$$

felső rész

upper part

$$\rho_{UP} = \frac{F_{hz}(L_P + L_v/2 - y_2)}{I_x} x, \quad (25)$$

$$\tau_{UP} = \frac{\rho_{UP}}{\sqrt{2}}, \quad (26)$$

$$\sigma_{UP} = \frac{\rho_{UP}}{\sqrt{2}}, \quad (27)$$

$$\sqrt{(\sigma_{UP})^2 + 3(\tau_v + \tau_{UP})^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw} \beta_w \sqrt{3}}. \quad (28)$$

#### Negyedik feltétel

A vízszintes varratok fáradási vizsgálata

#### Fourth constraint

Fatigue calculation of horizontal fillet weld

$$\tau_h = \frac{F_v}{2L_h a_w}, \quad (29)$$

$$\Delta \rho_{hP} = \frac{F_{vz}(L_v + L_p / 2)}{2L_h^2 a_w / 6}, \quad (30)$$

alsó rész

lower part

$$\Delta \tau_{hP} = \frac{\Delta \rho_{hP}}{\sqrt{2}}, \quad (31)$$

$$\Delta \sigma_{hP} = \frac{\Delta \rho_{hP}}{\sqrt{2}}, \quad (32)$$

$$\Delta \sigma_{hU} = \Delta \sigma_{hP} + \Delta \sigma_{LP}, \quad (33)$$

$$\Delta \tau_{hU} = \Delta \tau_{hP} + \Delta \tau_{LP}, \quad (34)$$

$$\left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{hU}}{\Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{hU}}{\Delta \tau_R / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1. \quad (35)$$

A vízszintes sarokvarratok statikus számításánál feltételezzük, hogy a vízszintes erőt a vízszintes varrat veszi fel.

Static calculation of horizontal fillet welds, assuming that the horizontal load is carried by horizontal welds only

$$\tau_h = \frac{F_v}{2L_h a_w}, \quad (36)$$

$$\Delta \rho_{hP} = \frac{F_{vz}(L_v + L_p / 2)}{2L_h^2 a_w / 6}, \quad (37)$$

alsó rész

lower part

$$\Delta \tau_{hP} = \frac{F_h}{L_h a_w}, \quad (38)$$

$$\Delta \sigma_{hP} = \frac{F_h (L_v + L_p)}{L_h^2 a_w / 6}, \quad (39)$$

$$\Delta \sigma_{hL} = \Delta \sigma_{hP} + \Delta \sigma_{LP}, \quad (40)$$

$$\Delta \tau_{hL} = \Delta \tau_{hP} + \Delta \tau_{LP}, \quad (41)$$

$$\left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{hL}}{\Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \sqrt{(\Delta \tau_{hP})^2 + \tau_h^2}}{\Delta \tau_R / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1. \quad (42)$$

Az 1. táblázat mutatja az emelőcsap tengelyének átmérőjét az erő függvényében

Shackles pin diameter in the function of load is given by Table 1.

1. táblázat

Table 1.

Erő (tonna) / Load (metric ton)	Csapátmérő (mm) / Pin diameter (mm)
120	95
150	108
200	130
250	140
300	150
400	175
500	185
600	205
700	215
800	220
900	230
1000	240

Nemlineáris rugalmas-képlékeny végeelem vizsgálatok mutatják, milyen kapcsolat van a csap átmérője, a furatméret, az emelőfül vastagsága és az emelőfül külső átmérője között (Choo et al. 1993).

Nonlinear elasto-plastic finite element investigation shows what is the connection between the pin diameter, the hole diameter, the main radius and thicknesses at the shackles (Choo et al. 1993).

$$\begin{aligned}
 d_{hole} &= 1.04 d_p \\
 r_{main} &= 1.75 d_{hole} \\
 t_1 &= 0.25 - 0.40 d_p \\
 t_2 &= 0.15 - 0.30 d_p \\
 2t_2 + t_1 &= 0.40 d_{pin} + 2 \cdot 0.30 d_p = d_p
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

A kereskedelmi forgalomban kapható lemezméretetek a következők (Continental Hardware Pte Ltd.) (2. táblázat)

The commercially available plate thicknesses (Continental Hardware Pte Ltd.) (Table 2.)

2. táblázat

Table 2.

vastagság / thickness in inch	vastagság / thickness in mm
3/16	6.35
5/16	7.94
3/8	9.53
7/16	11.11
1/2	12.70
9/16	14.24
5/8	15.88
11/16	17.46
3/4	19.05
13/16	20.64
7/8	22.23
15/16	23.81
1	25.40
1 1/8	28.58
1 1/4	31.75

## Optimálás

## Optimization

Változók

Variables



$$\begin{aligned}x_1 &= t_{\text{main}} = t_w \\x_2 &= L_{\text{vertical}} = L_v \\x_3 &= L_{\text{horizontal}} = L_h\end{aligned}\quad (44)$$

#### Implicit feltételek

- az alapanyag húzása (5, 6),
- az alapanyag hajlítása és húzása (7, 8),
- függőleges hegesztési varratok (13, 17, 24, 28),
- vízszintes hegesztési varratok (35, 42).

#### Implicit constraints

- tension of parent material (5, 6),
- bending and tension of parent material (7, 8),
- vertical welded joints (13, 17, 24, 28),
- horizontal welded joints (35, 42).

Az acélminőségi adatokat a 3. táblázat mutatja.

The steel grades can be seen in Table 3.

3. táblázat

Table 3.

Acélminőség / Steel grade	Szakítószilárdság / Tensile strength $f_u$	Korrekciós tényező / Correction parameter $\beta_w$
Fe 360	360	0.8
Fe 430	430	0.85
Fe 510	510	0.9

Fe 510-es anyag került alkalmazásra.

Steel Fe 510 was used.

$$\gamma_{Mf} = 1.25; \gamma_{M1} = 1.1; \gamma_{Mw} = 1.25; \gamma_{Ff} = 1. \quad (45)$$

$10^4$  ciklus esetén

For  $10^4$  cycles

$$\Delta\sigma_R = 280 \text{ MPa}; \Delta\tau_R = 110 \text{ MPa}. \quad (46)$$

#### Eredmények

#### Results

4. táblázat

Table 4.

Héjlemez vastagság Shell plate thickness 8	Statikus/Static Fáradási/Fatigue	$t_{\text{min}}$ (mm)	$L_{\text{vertical}}$ (mm)	$L_{\text{horizontal}}$ (mm)	Tömeg Mass (kg)	feltételek constraints (5,6) (7,8) (13,17,24,28) határok limits (35,42)			
8	Fáradási/Fatigue	28.58	1040	980	363.8	59.5<224	54.1<224	0.97<1	0.95<1
8	Statikus/Static	28.58	1170	1070	356.4	81.7<261	74.3<261	260.3<261	259.7<261
10	Fáradási/Fatigue	28.58	1070	800	248.5	72.8	66.3	0.98	0.96
10	Statikus/Static	28.58	1050	920	281.7	95.0	86.5	232.1	257.4
12	Fáradási/Fatigue	28.58	950	700	198.6	83.3	75.7	0.71	0.93
12	Statikus/Static	28.58	780	750	184.2	116.6	106.1	260.4	258.8
15.8	Fáradási/Fatigue	28.58	680	540	120.5	107.9	98.2	0.96	0.94
15.8	Statikus/Static	28.58	590	600	121.7	145.7	132.5	261.5	253.5
17.46	Fáradási/Fatigue	28.58	620	500	104.8	116.6	106.7	0.93	0.9
17.46	Statikus/Static	28.58	540	550	105.4	159	144.6	258.6	257.7
19.05	Fáradási/Fatigue	28.58	560	460	90.2	126.7	115.2	0.99	0.96
19.05	Statikus/Static	28.58	490	510	92.0	171.5	155.9	261.3	258.7

Az eredmények azt mutatják, hogy a héjlemez vastagság növelése az emelőfül tömegének csökkenését eredményezi, mivel nagyobb varrat készíthető el, ezért az emelőfül vízszintes és függőleges oldala rövidebb. A csökkenő emelőfül tömeg növekvő héjlemez tömeget kíván. Ha ún. átmeneti lemezt építünk be az emelőfül és a héjlemez közé, akkor szintén csökkenteni tudjuk a szerkezet tömegét, anélkül, hogy a héjlemez tömege növekedne.

Results show that increasing the thickness of shell plate, the mass of padeye is decreasing, because greater welded joint can be made and the vertical and horizontal lengths of padeye are shorter. The decreasing of padeye mass requires a greater shell plate mass. If we introduce intermediate plate between shell plate and padeye, we can reduce the mass of the structure without increasing the mass of the shell plate.

$$\frac{L_v}{L_{vi}} \approx \frac{t_{shell}}{t_{interm}} \approx \frac{L_h}{L_{hi}} \quad (47)$$

Ha  $t_{main} = 28.58$  mm, akkor  $t_{interm} = 15.8$  mm és  $t_{shell} = 8$  mm.

Ebben az esetben  $L_v = 680$  mm és  $L_{vi} = 1340$  mm,  
 $L_h = 540$  mm és  $L_{hi} = 1066.5$  mm.

$M_{padeye}$  (héj lemez 8 mm) = 339.7 kg

$M_{padeye}$  (héj lemez 15.8 mm) = 112.2 kg

Az emelőfül tömegcsökkenése 227.5 kg

Az átmeneti lemez tömegnövekedése (megnövelve a vastagságát 8-ról 15.8 mm-re) 87.7 kg, tehát 139.8 kg-ot tudunk csökkenteni az össztömegben.

Ha bevezetjük a célfüggvényénél a költségeket, akkor számításba kell vennünk a hegesztési költségeket is (Jármai, Farkas 1998).

If  $t_{main} = 28.58$  mm than  $t_{interm} = 15.8$  mm and  $t_{shell} = 8$  mm.

In this case  $L_v = 680$  mm and  $L_{vi} = 1340$  mm,  
 $L_h = 540$  mm and  $L_{hi} = 1066.5$  mm.

$M_{padeye}$  (shell plate is 8 mm) = 339.7 kg

$M_{padeye}$  (shell plate is 15.8 mm) = 112.2 kg

Saving at padeye mass is 227.5 kg

The extra plate mass at the intermediate plate is (increasing the thickness from 8 to 15.8 mm) 87.7 kg, so we can save 139.8 kg in total mass.

If we introduce cost as an objective function we should take into account the welding cost (Jármai, Farkas 1998).

Fe 360-as acél esetén az eredmények a következők:

Using steel, Fe 360 the results are as follows:

5. táblázat

Table 5.

Héjlemez vastagság Shell plate thickness	Statikus/Static Fáradási/Fatigue	$t_{min}$ (mm)	$L_{vertical}$ (mm)	$L_{horizontal}$ (mm)	Mass (kg)	feltételek constraints (5) (7) (13, 17) (35)			
15.8	Statikus/Static	28.58	750	720	171.9	121.5	110.5	205.7	207.4
17.46	Statikus/Static	28.58	675	660	146.5	132.5	120.5	206.8	207.5
19.05	Statikus/Static	28.58	620	620	129.9	141.1	128.3	206.4	203.6

A tömegcsökkenés növelt folyáshatárú acél alkalmazása esetén közel 40 % statikus esetben. Fáradás esetén nincs jelentős eltérés a tömegek között.

The mass saving using higher strength steel is about 40 % for static calculation. For fatigue calculation there is no significant difference between masses.

### Az optimálási eljárás

A Hillclimb módszer egy direkt kereső módszer, ami nem igényel deriválást. Rosenbrock (1960) módszere egy iterációs eljárás, mely Hooke and Jeeves-féle kereső eljárás alapján, kis lépéseket téve a keresés során az ortogonális koordináták irányában.

Az eljárás a következő:

Minimálja a célfüggvényt

### The optimization method

The Hillclimb method is a direct search one without derivatives. Rosenbrock's (1960) method is an iterative procedure that bears some correspondence to the exploratory search of Hooke and Jeeves in that small steps are taken during the search in orthogonal coordinates.

The method is performed as follows:

Minimize the objective function

$$f(x_i) \rightarrow \min. \quad (48)$$

A méretezési feltételek:

Design constraints are:

$$\text{explicit} \quad x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (49)$$

$$\text{implicit} \quad g_j(x_i) \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, M). \quad (50)$$

(i) A minimálási eljárás kezdetekor definiál egy 'kezdő' lépésméretet  $S_i$ , melyeket az  $M_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . kutatási irányokban tesz. A kezdőpontnak ki kell elégítenie a feltételeket és nem eshet a határzónába.

(ii) Minden egyes célfüggvényérték-meghatározás után a következő lépéseket végzi: Definiál egy  $f^o$  értéket a legjobb célfüggvényértékből, ahol a méretezési feltételek kielégülnek, és  $f(x)$  értéket, ahol még ezen kívül a határzónák sem sérülnek.  $f^o$  és  $f(x)$  értékét egyenlőnek veszi a célfüggvény értékével a kezdőpontnál.

(iii) Az első változó értékét,  $x_i$ , lépteti egy távolsággal,  $S_i$ , párhuzamosan a tengellyel és meghatározza a célfüggvény értékét. Ha a vizsgált pont célfüggvény értéke,  $f$ , rosszabb (nagyobb vagy kisebb) mint  $f^o$ , vagy a méretezési feltételek nem teljesülnek, akkor a vizsgált pont sikertelen és az  $S_i$  lépéstávot csökkenti egy tényezővel  $\beta$ ,  $0 < \beta \leq 1$ , továbbá a mozgás irányát visszafordítja. Ha a mozgás sikeres, akkor az  $S_i$  értékét egy tényezővel növeli,  $\alpha$ ,  $\alpha \geq 1$ . Az új pontot megőrzi és a sikert tárolja.  $\alpha$  és  $\beta$  értékei általában 3,0 és 0,5.

(iv) Folytatva a keresést, az  $x_i$  változót szekvenciálisan lépteti  $S_i$  lépéssel, párhuzamosan a tengellyel. Hasonló gyorsító és lassító eljárás kerül alkalmazásra minden változónál mindaddig, amíg legalább egy sikeres és egy sikertelen lépés történt mind az  $N$  irányban. A változtatások a vizsgált irányban addig folytatódnak, amíg minden irányban egy sikeres lépést egy sikertelen követ, mely idő alatt a  $k$ -dik iteráció befejeződik. Ha a célfüggvényérték egyenlő, akkor az sikeres lépésnek minősül, de véglegesen sikeres minden irányban, ha az együtthatók redukálták a lépéstávot. A kiadódó végső pont válik a sikeres iteráció kezdőpontjává  $x^{(k+1)} = x^{(k)}$ . A normált irány  $S_i^{(k+1)}$  az  $x_0^{(k+1)} - x_0^{(k)}$  iránnyal párhuzamos irányban kerül megválasztásra és a további irányok egymásra és az  $S_i^{(k+1)}$  irányokra ortonormáltan kerülnek megválasztásra.

(v) Kiszámolja az új irányok rendszerét,  $M_{i,j}^{(k)}$  elforgatva a tengelyeket a következő egyenleteknek megfelelően. Általában az ortogonális keresési irányok mint a független változók koordinátáinak kombinációi kerülnek meghatározásra a következő módon:

(i) Before starting the minimization process, define a set of 'initial' step lengths  $S_i$ , to be taken along the search directions  $M_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . The starting point must satisfy the constraints and should not lie in the boundary zones.

(ii) After each function evaluation, the following steps are carried out: Define by  $f^o$  the current best objective function value for a point where the constraints are satisfied, and  $f(x)$  where in addition to this the boundary zones are not violated.  $f^o$  and  $f(x)$  are initially set equal to the objective function value at the starting point.

(iii) The first variable  $x_i$  is stepped a distance  $S_i$  parallel to the axis and the function evaluated. If the current point objective function value,  $f$ , is worse (greater or less) than  $f^o$  or if the constraints are violated, the trial point is a failure and  $S_i$  decreased by a factor  $\beta$ ,  $0 < \beta \leq 1$ , and the direction of movement reversed. If the move is termed a success,  $S_i$  increased by a factor  $\alpha$ ,  $\alpha \geq 1$ . The new point is retained, and a success is recorded. The values of  $\alpha$  and  $\beta$  are usually taken as 3,0 and 0,5 respectively.

(iv) Continue the search sequentially stepping the variables,  $x_i$ , a distance  $S_i$  parallel to the axis. The same acceleration or deceleration and reversal procedure is followed for all variables, until at least one step has been successful and one step has failed in each of the  $N$  directions. Perturbations are continued sequentially in the search directions until a success is followed by a failure in every direction, at which time the  $k$ th stage is terminated. Since an equal value of a function counts as a success, a success is eventually reached in each direction as the multipliers of reduce the magnitude of the step length. The final point obtained becomes the initial point for the succeeding stage  $x^{(k+1)} = x^{(k)}$ . The normalized direction  $S_i^{(k+1)}$  is chosen parallel to  $x_0^{(k+1)} - x_0^{(k)}$ , and the remaining directions are chosen orthonormal to each other and to  $S_i^{(k+1)}$ .

(v) Compute the new set of directions  $M_{i,j}^{(k)}$  rotating the axes by the following equations. In general, the orthogonal search directions can be expressed as combinations of all the co-ordinates of the independent variables as follows:

$$M_{i,j}^{(k+1)} = \frac{D_{i,j}^{(k)}}{\left[ \sum_{l=1}^n (D_{i,j}^{(k)})^2 \right]^{1/2}}, \quad (51)$$

ahol

where

$$D_{i,1}^{(k)} = A_{i,1}^{(k)} \quad (52)$$

$$D_{i,1}^{(k)} = A_{i,1}^{(k)} - \sum_{l=1}^{l-1} \left[ \left( \sum_{n=1}^j M_{n,j}^{(k+1)} A_{n,j}^{(k)} \right) M_{i,j}^{(k+1)} \right], \quad j = 2, 3, \dots, N \quad (53)$$

$$A_{i,j}^{(k)} = \sum_{l=j}^N d_i^{(k)} M_{i,l}^{(k)}, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, N \quad (54)$$

$d_i$  -a mozgások össztávolsága az  $i$  irányban az utolsó forgatástól.

(vi) Keresés minden  $x$  irányban történik, felhasználva az új koordináta tengelyeket. Minden  $x$  irányban a változó értékét  $S_i$  -el növeljük, párhuzamosan a tengellyel és a célfüggvény értéke meghatározásra kerül.

$d_i$  -sum of distances moved in the  $i$  direction since last rotation of axes.

(vi) Search is made in each of the  $x$  directions using the new co-ordinate axes. In each  $x$  direction the variables are stepped a distance  $S_i$  parallel to the axis and the function is evaluated.

$$\text{new } x_i^{(k)} = \text{old } x_i^{(k)} + S_j^{(k)} * M_{i,j}^{(k)} \quad (55)$$

(vii) Ha a vizsgált pont a határzónában van, akkor a célfüggvény értékét a következőképpen módosítja;

(vii) If the current point lies within a boundary zone, the objective function is modified as follows;

$$f(\text{new}) = f(\text{old}) - (f(\text{old}) - f^*) (3\lambda - 4\lambda^2 + 2\lambda^3) \quad (56)$$

ahol

A határzóna definíciója a következő:

$$\lambda = \frac{\text{a pont távolsága a határzónától}}{\text{a határzóna szélessége}}$$

where

The boundary zones are defined as follows:

$$\lambda = \frac{\text{distance of point into boundary zone}}{\text{width of boundary zone}}$$

alsó zóna:

lower zone:

$$\lambda = \frac{x_i^L + (x_i^U - x_i^L) * 10^{-4} - x_i}{(x_i^U - x_i^L) * 10^{-4}} \quad (57)$$

felső zóna:

upper zone:

$$\lambda = \frac{x_i - (x_i^U - (x_i^U - x_i^L) * 10^{-4})}{(x_i^U - x_i^L) * 10^{-4}} \quad (58)$$

A zóna belső szélénél  $\lambda = 0$ , vagyis a célfüggvény nem kerül módosításra, ( $f(\text{new}) = f(\text{old})$ ). A feltételeknél  $\lambda = 1$ , vagyis  $f(\text{new}) = f^*$ .

Ha a célfüggvény javul, miközben a feltételeket közelítjük, akkor a módosított célfüggvénynek optimuma van a határzónában.

(viii)  $f^*$  egyenlő lesz  $f^0$  -al, ha a célfüggvény értékének javulása a határzóna és a feltételek megsértése nélkül történik.

At the inner edge of the zone,  $\lambda = 0$ , i.e., the function is unaltered ( $f(\text{new}) = f(\text{old})$ ). At the constraints,  $\lambda = 1$ , and thus  $f(\text{new}) = f^*$ .

For a function, which improves as the constraint is approached, the modified function has an optimum in the boundary zone.

(viii)  $f^*$  is set equal to  $f^0$  if an improvement in the objective function has been obtained without violating the boundary zones or constraints.

(ix) A kereső eljárás a folytonos optimum meghatározására akkor fejeződik be, ha a konvergencia kritérium teljesül.

(x) Az eljárás módosításra került úgy, hogy másodlagos keresést végez a diszkrét értékek meghatározására. Ennek részletes megoldása megtalálható Farkas, Jármai 1997a.

Az eljárás a konvergencia kritérium teljesülése, vagy az iterációszám határának elérése esetén áll meg. Az eljárás nagyon gyors, de hajlamos lokális optimumot adni, ezért célszerű több kezdőpontból indítani. A Hillclimb algoritmus Turbo/Borland C nyelvű számítógépi programja megtalálható Farkas, Jármai 1997b könyvben.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka az Országos Tudományos Kutatási Alap T22846 és a T 022020 projektjei támogatásával történt.

### Irodalom

- Choo, Y.S., Choi, K.C., Lee, K.H. (1992): *The impact of padeye shape and pin/hole tolerance on its behaviour*. Offshore, 9<sup>th</sup> Conference & Exhibition World Trade Centre Singapore, Proceedings 92192 paper, 6 p.
- Choo, Y.S., Choi, K.C., Lee, K.H. (1993): *The effects of eyebar shape and pin/hole tolerance on its ultimate strength*. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 26, p.153-169.
- Choo, Y.S., Choi, K.C., Lee, K.H. (1994): *A comparative study on theoretical strengths of padeyes under in-plane loads*. 4<sup>th</sup> International Offshore & Polar Engineering Conference, ISOPE-94. Osaka, Proceedings 11 p.
- Farkas, J., Jármai, K. (1997a): *Backtrack method with applications to DSO*, Chapter 4. in Discrete Structural Optimization, Springer Verlag, Edited by W. Gutkowski, pp. 167-232. ISBN 3-211-82901-6
- Farkas, J., Jármai, K. (1997b): *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 347 p. ISBN 90 5410 669 7.
- Jármai, K., Farkas, J. (1998): *Cost calculation and optimization of welded steel structures*, Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, Vol. 50. No. 2. pp 115-135, ISSN 0143-974X.
- Rosenbrock, H.H. (1960): *An automatic method for finding the greatest or least value of a function*. Computer Journal, 3, 175-184.

(ix) The search procedure to find the continuous values of the variables is terminated when the convergence criterion is satisfied.

(x) The procedure was modified by a secondary search to find the discrete values of the variables. In details it is written Farkas, Jármai 1997a.

The procedure stops if the convergence criterion or the iteration limit is reached. The procedure is very quick, but it gives usually local optima, so it is advisable to use more starting points. The Turbo/Borland C version of Hillclimb technique can be found in Farkas, Jármai 1997b.

### Acknowledgement

This work has been supported by the Hungarian Fund for Scientific Research grants OTKA T 22846 and T 022020.

### References

- Choo, Y.S., Choi, K.C., Lee, K.H. (1992): *The impact of padeye shape and pin/hole tolerance on its behaviour*. Offshore, 9<sup>th</sup> Conference & Exhibition World Trade Centre Singapore, Proceedings 92192 paper, 6 p.
- Choo, Y.S., Choi, K.C., Lee, K.H. (1993): *The effects of eyebar shape and pin/hole tolerance on its ultimate strength*. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 26, p.153-169.
- Choo, Y.S., Choi, K.C., Lee, K.H. (1994): *A comparative study on theoretical strengths of padeyes under in-plane loads*. 4<sup>th</sup> International Offshore & Polar Engineering Conference, ISOPE-94. Osaka, Proceedings 11 p.
- Farkas, J., Jármai, K. (1997a): *Backtrack method with applications to DSO*, Chapter 4. in Discrete Structural Optimization, Springer Verlag, Edited by W. Gutkowski, pp. 167-232. ISBN 3-211-82901-6
- Farkas, J., Jármai, K. (1997b): *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 347 p. ISBN 90 5410 669 7.
- Jármai, K., Farkas, J. (1998): *Cost calculation and optimization of welded steel structures*, Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, Vol. 50. No. 2. pp 115-135, ISSN 0143-974X.
- Rosenbrock, H.H. (1960): *An automatic method for finding the greatest or least value of a function*. Computer Journal, 3, 175-184.